モバイルコンピューティングとワイヤレス通信　20－14
(2002.　3.　8)

透過型Proxy方式の実装と評価

関口 克己†　　北口 雅哉†　　鶴巻 宏治†

†NTT DoCoMo マルチメディア開発部
〒239-8536 神奈川県横須賀市光の丘 3-5

E-mail: †{seki, kitaguti, tsuru}@mmd.yrp.nttdocomo.co.jp

あらまし 第三世代携帯電話システム（IMT-2000）に代表されるようなワイヤレスパケットアクセスでは遅延時間帯域幅積が大きいという特性があるため、従来の TCP/IP アプリケーションを利用すると，充分なスループットが得られないなど性能低下を引き起こすことがわかっており，その対策として W-TCP が提案されている．本研究では，W-TCP と TCP を透過的に変換，中継する透過型 Proxy 方式を提案しゲートウェイ装置に実装し評価を行った．

キーワード IMT-2000, W-TCP, HTTP, Proxy

Implementation And Evaluation Of Trasparent Proxy Method

Katsumi Sekiguchi†, Masaya Kitaguti†, and Koji Tsurumaki†

† NTT DoCoMo Multimedia Development Department
3-5,Hikarinooka, Yokosuka, Kanagawa, 239-8536 Japan

E-mail: †{seki, kitaguti, tsuru}@mmd.yrp.nttdocomo.co.jp

Abstract The third generation wireless communication system known as IMT-2000 with wide bandwidth of a maximum of 384kbps, in turn, provides high-speed data transmission and access to the Internet. As a channel utilization characteristic of IMT-2000, propagation delay for a message and the corresponding reply is considered to be much larger compared to the bandwidth. The higher the delay, the greater the stress placed on the transport protocol to operate efficiently. There is a huge impact on TCP performance seen for conventional TCP with greater amounts of data held "in transit" in the network, hence, inefficiency. TCP profile of W-CDMA has been proposed to enable such TCP to more effectively utilize the available capacity of the network path.

In this paper, we propose a transparent proxy method to convert TCP profile of W-CDMA to and from legacy TCP, and implement this method to gateway system. We performed simulation under the third generation mobile network and evaluated its efficiency.

Key words IMT-2000, W-TCP, HTTP, Proxy

1. まえがき

2001 年に商用サービスが開始された第三世代携帯電話システム（IMT-2000）では、高速パケット交換サービス（上り 64kbps,下り 384kbps）が提供されており，従来よりも高速なモバイルインターネットアクセスが可能となっている．このパケットチャネルの特性として，無線区間を含む網内伝送遅延時間が，伝送帯域幅に鑑みて大きい値になることが分かっている．このような特性のベアラで，従来の実装の TCP/IP を利用した各種アプリケーションが，充分なスループットを得られないなど性能低下を生じることが明らかになっている．

IMT-2000 パケットチャネルのような伝送特性を持つベアラで TCP を利用するための最適化の試みとして，無線区間と有線区間の TCP コネクションを分離する Split TCP や，Performance-Enhancing Proxy(PEP)や，End-to-End 通信モデルを前提とした TCP のプロファイルセットである A TCP Profile for W-CDMA (W-TCP)が提案されている．[1,2,3,4,5] またアプリケーション層のプロトコルでも RFC2616[11]で標準化された HTTP/1.1 に規定されているリクエストパイプライニングの技法が，WWW アプリケーションのスループット性能，レスポンス性能の特性改善に有効であることが示されている．[6]

最適化手法の一つである，W-TCP は End-to-End の通信モデルを前提として考案された TCP パラメタのプロファイルセットであるため，TCP コネクションの両端のホストにプロファイルを適用することが必要である．しかし，インターネット上に無数に存在するホストが一様のプロファイルセットを適用することは非現実的であり，IMT-2000 を利用するクライアントと W-TCP 非適用のインターネット上のサーバ間で W-TCP と TCP を変換し中継するゲートウェイ装置の必要性が生じている．

本研究では、従来の TCP と W-TCP を変換し中継するゲートウェイの方式として、透過型 Proxy 方式の検討を行い、実装の評価を行った．

2. A TCP Profile for W-CDMA (W-TCP)

LTN(Long Thin Network)における TCP の最適化は，インターネット上のコミュニティで盛んに議論されており，様々な解決法が提案されている．[12] 提案されているモデルの中には，無線リンクと有線リンクの TCP コネクションを分割し，それぞれリンクに最適な TCP を利用する手法があるが，コネクションの分割により End-to-End の通信モデルが崩れ，インターネット上のコンテンツプロバイダなどの事業者が提供する各種サービスに制限を加えてしまうなどの問題が発生する可能性がある．

W-TCP では，End-to-End の通信モデルを崩すことなく，さらに既存の TCP の実装に与えるインパクトを最小限とするという点に主眼を置き，RFC で標準化された TCP の拡張手法を用いたパラメタセットという形で提案されている．

W-TCP で用いた拡張手法は下記の 4 つを必須項目としてあげている．[7,8,9,10,13]

- TCP バッファサイズの拡大
- 初期ウィンドウサイズ拡大
- MTU サイズの拡大
- 選択的確認応答

3. HTTP リクエストパイプライニング

RFC2616 で標準化された HTTP/1.1 では，パーシステントコネクションの利用が可能となっている.パーシステントコネクションでは，1 つの TCP コネクションの中で, HTTP の GET-RESPONSE を繰り返すことが可能となる．リクエストパイプライニングはパーシステントコネクションの利用を前提とし，1 つの TCP コネクションの中で,複数の GET を

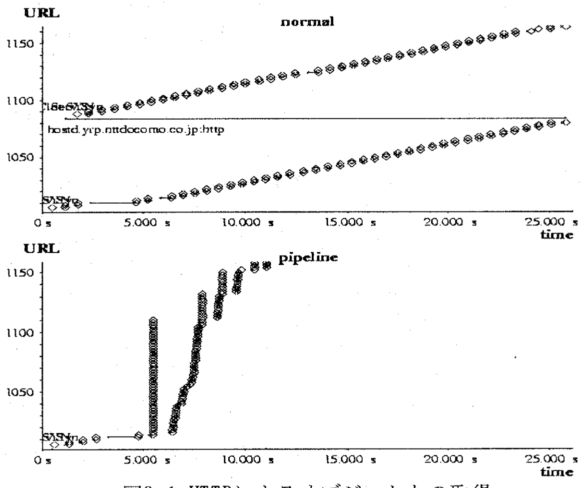

図3. 1 HTTPによるオブジェクトの取得

RESPONSE の受信を待たずに連続的に送信することができる．リクエストパイプライニングでは，通常のリクエスト方式のように GET 送信後の待ち時間がなく，特に RTT の大きいネットワークで用いた場合，およびページを構成するオブジェクトのサイズが小さく，大量にあるような時に，効果が高いことがわかっている．

リクエストパイプライニングによるオブジェクトの取得を TCP 層から見た場合，1 つの連続したデータのダウンロードと見ることができる．通常の HTTP の GET とリクエストパイプライニングを行ったときのタイムシーケンスグラフを図 3.1 で示す．

4. 透過型 Proxy 方式

4.1 機能概要

W-TCP は End-to-End の通信モデルを前提とし，RFC で標準化された拡張技術のみを利用したプロファイルセットであるが，現在，市場に出荷されている各種 OS の TCP の実装は初期値で W-TCP のプロファイルが有効でない OS も存在する．特にインターネット上に無数に存在するサーバに対して W-TCP を適用するには，OS のパラメタ変更や最新版への改版を待たなければならず，クライアント側だけの対応では W-TCP の効果を得ることはできないため IMT-2000 パケットサービスの能力を充分に引き出すことは難しい．

そこで，図 4.1 で示すような W-TCP が適用されたクライアントと，非適用のサーバの中間で，異なるプロファイルを持った TCP を終端しプロファイルの相互変換を行うゲートウェイ装置の検討を行うこととする.このゲートウェイ装置の機能要求条件として W-TCP の前提条件である End-to-End の通信モデルを見かけ上崩さない，すなわちクライアントホストは TCP コネクションの相手はオリジンサーバであると認識していること、逆にオリジンサーバは TCP コネクションの相手はクライアントホストであると認識していること，さらに従量制課金網での利用も想定し，TCP コネクションの中継処理方式に起因する不要なパケットの発生を最小限に押さえる，というものがあり，通常の Proxy ではこの条件を満たすことはできない．

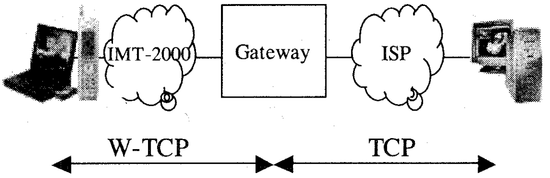

図4. 1 システム構成図

本研究では,TCP 層において上記の条件を満たすことが可能な，透過型 Proxy 方式を提案した．図 4.2 でプロトコルスタックを示す．今回は対象アプリケーションとして WWW アクセスに利用される HTTP に限定し，ゲートウェイ装置に実装し評価を行った．

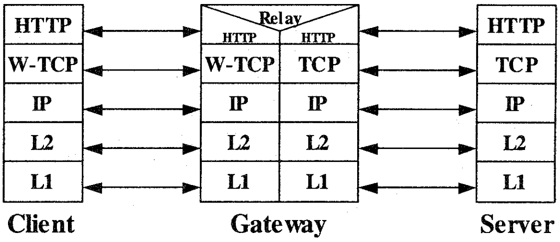

図4. 2 プロトコルスタック

4.2 ソフトウェア構成

本研究で作成したソフトウェアの構成を図 4.3 で示す．呼処理部は，IP データグラムの透過を行う透過 TCP-Agent と，TCP セグメントの中継および W-TCP と TCP の相互変換を行う Proxy APL の 2 つのプロセスと，アドレス変換前後の IP アドレスと TCP コネクションの状態を保持するコネクション管理テーブルから構成される．ハードウェアおよび TCP/IP スタックは汎用 UNIX システムで構成され，TCP/IP スタックには W-TCP のプロファイルを適用している．

4.3 透過 TCP-Agent

透過 TCP-Agent は，無線通信網を介して接続されたクライアントと W-TCP 通信を行うクライアント側と，インターネットを介して接続されたサーバホストと TCP 通信を行うサーバ側の 2 つのモジュールからなり，それぞれネットワークインターフェー

スカード（NIC）に付与された実 IP アドレスと内部処理のため仮想的に付与された仮想 IP アドレスを認識する．

クライアント側は，クライアントホストとの IP データグラムの送受信およびアドレス変換を行う NAT 処理部と，W-TCP を実装したストリームソケットで通信を行う W-TCP 処理部で構成される．サーバ側はサーバホストとの IP データグラムの送受信およびアドレス変換を行う NAT 処理部と TCP を実装したストリームソケットで通信を行う TCP 処理部から構成される．

透過 TCP-Agent の NAT 処理部では，NIC に入ってきた全てのパケットのキャプチャリングを行う．キャプチャリングしたパケットは，取り込み条件に一致したパケットは NAT 処理を行い，ストリームソケットへ送信を行う．一致しなかったパケットは破棄する．取り込み条件は，

- プロトコル番号が 6（TCP）
- 宛先アドレスが NIC の実アドレス以外
- SYN パケットである、か、もしくは、SYN パケット以外でコネクション管理テーブルに登録がされている場合

である．SYN パケット受信時には，NAT 処理は IP ヘッダの送信元アドレス，宛先アドレス，TCP ヘッダの送信元ポート，宛先ポートの変換処理を行い，その情報をコネクション管理テーブルに登録を行う．

透過 TCP-Agent では，2 つの仮想 IP アドレス(クライアント側，サーバ側)に対して，1 つの仮想ポート番号を付与する．仮想ポート番号は，コネクション要求ごとに 1 つ取得され，受信パケットとコネクション管理テーブルを関係付けるキーとして使用するため，システムでユニークとなるように管理する．割り振られた仮想ポート番号は、そのコネクションを解放するまで再利用されないようにする．

4.4 Proxy APL

Proxy APL は透過 TCP-Agent から実 IP アドレス宛に送信されてくるパケットを受信し，W-TCP と TCP の相互変換と HTTP セッションの中継を行う．HTTP としては通常の HTTP の GET METHOD に加え,HTTP リクエストパイプライニングの中継を可能としている．

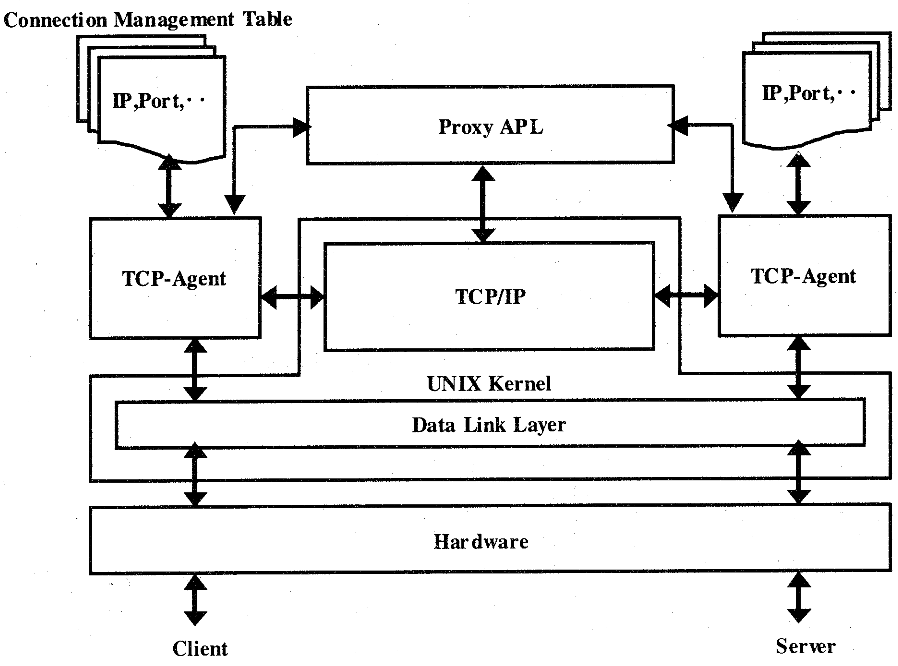

図4. 3 透過型Proxy方式構成図

4.5 コネクション確立方式

インターネット上のサーバのダウンなど，クライアントから送信されたTCP SYN パケットの宛先IPアドレスを持つサーバとのコネクション確立が不可能であった場合，通常のProxy 方式では,クライアントとProxy 間のTCP コネクションが先に確立し,クライアントからHTTP リクエストが送出され，不要なパケット送出が発生する可能性がある．この現象を回避するため,透過型Proxy 方式では，図4.4 のシーケンスで示すように,クライアントからのSYN パケット受信後，クライアントへSYN+ACK の送信を保留し,ISP 側のコネクションの確立を行う.この間,クライアント側のコネクション確立処理は待機状態となり，サーバ側のコネクション確立処理が完了した時点で，クライアント側のコネクション確立処理を行う．サーバ側のコネクション確立失敗時は,クライアントへSYN+ACK を送信せず破棄する．

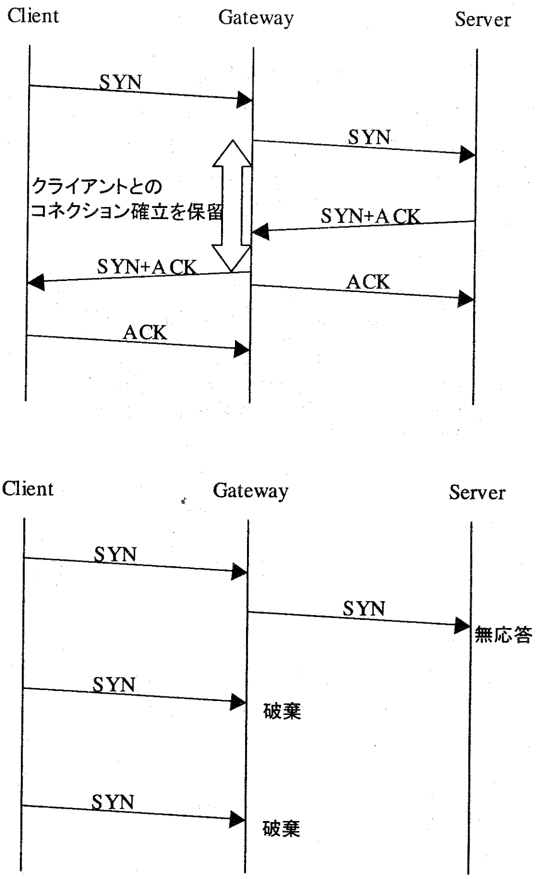

図4. 4 TCPコネクション確立シーケンス

透過TCP-Agent はクライアントからのSYN 受信後、タイマ設定（以降、ISP-connect タイマと呼ぶ）を行い、Proxy APL へconnect 要求信号を送出する。connect 要求を受信したProxy APL ではISP サーバへのコネクション確立を行い、確立完了後にconnect 応答信号を透過 TCP-Agent に送信する。透過TCP-Agent はISP-connect タイムアウト前にProxy APL からの connect 応答信号を受信した場合は、ISP-connect タイマを解除し、クライアント側のSYN 受信以降のコネクション確立処理を行う。この手順により、ISP 側のTCP コネクションが、クライアント側の TCP コネクションよりも先に確立されることになり、宛先不明のサーバへのTCP パケットがクライアントから送出されることが避けられる。

ISP-connect タイマは、透過 TCP-Agent からProxy APL へのconnect 要求信号送信からconnect 応答信号受信までを監視するものである。ISP 側のコネクション確立要求がリトライアウトするまでの最大時間を考慮し、コネクョン確立の制限時間＋αとしている。

クライアントからのSYN 受信からSYN+ACK 送信までの間にISP 側のコネクション確立を行うため、インターネットのネットワーク遅延およびISP サーバでの処理遅延によってPC からのSYN 再送が発生する可能性がある。connect 応答信号待ち状態でSYN 再送を受信した場合は、ISP-connect タイマ再設定は行わず、初回に要求した connect 要求信号に対する応答を待つため無視される。connect 応答信号後にSYN 再送を受信した場合も、既にISP 側のコネクションは確立されており、SYN+ACK 送信もされるため無視される。

ISP 側のサーバーダウン等の場合、Proxy APL のconnect がコネクション確立異常となり、ISP-connect タイムアウト前に connect 応答信号が透過 TCP-Agent から返送される。Proxy APL はconnect 応答信号受信後、ISP-connect タイマを解除し、PC へのSYN+ACK を送信せず、コネクション要求を破棄する。

5. 評価環境

本研究で用いた実験系の構成を図 5.1 に示す．本実験系においては，W-TCP クライアントと HTTP サーバを，上り 64kbps,下り 384kbps の IMT-2000 パケットサービスの回線を擬似するシミュレータ経由で接続した．

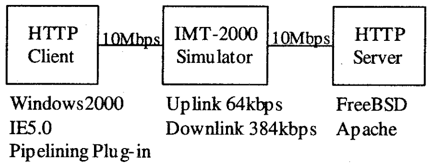

図5.1 実験系構成図

W-TCP クライアントには，Windows2000 に W-TCP のプロファイルを適用し，WWW ブラウザとして Internet Explorer 5 にリクエストパイプライニングのプラグインを登録したものを用いた．HTTP サーバには FreeBSD 4.4 上で Apache を動作させたものを用いた．回線シミュレータは上り 64kbps,下り 384kbps とし，RTT に関しては，200ms から 1000ms まで変化させ，透過型 Proxy 方式の効果を確認した．

実験方法は，Internet Explorer より 2Mbyte のバイナリファイルのダウンロードと，8kbyte の画像ファイルを 100 個貼り付けた HTML ファイルの取得の 2 通りを，それぞれゲートウェイ経由と，ゲートウェイを経由しない，2 通りのルートで測定を行った．

6. 評価結果および考察

2Mbyte のバイナリファイルのダウンロードを行った結果を図 6.1 に示す．横軸に RTT を ms，縦軸にスループットを kbps で示している．ゲートウェイを経由しない場合,RTT が 200ms では，スループットは 355kbps 出ているが,RTT が増えるに従い急激に低下し，600ms で 188kbps,1000ms では 116kbps まで落ち込んでいる．IMT-2000 パケットサービスの RTT の実測値である約 600ms において 200kbps を下回っており，帯域幅を効率的に利用できていないことが分かる．一方，ゲートウェイを経由し W-TCP と TCP の相互変換をした場合，RTT が 200ms では，End-to-End で接続した場合に近い 363kbps が出ており，ゲートウェイを経由することによるオーバーヘッドでの性能低下が生じていないことがわかる．RTT が 600ms で 347kbps, 1000ms まで増やした場合でも 333kbps の値が確認できており，スループットの低下を RTT が 200ms の時に比べ 24kbps に押さえられている．RTT 600ms においても 347kbps のスループットが得られており，ゲートウェイを経由しない場合に比べ，約 2 倍の性能改善がされている．

HTTP リクエストパイプライニングで HTML ファイルを取得した結果を図 6.2 に示す．横軸に RTT を ms で，縦軸に全てのオブジェクトの取得に要した時間を秒で示している．ゲートウェイを経由しない場合，RTT が 200ms では，全てのオブジェクトの取得に 22 秒かかり，600ms で 40 秒，1000ms では 63 秒と急激に所要時間が増加している．600ms で 40

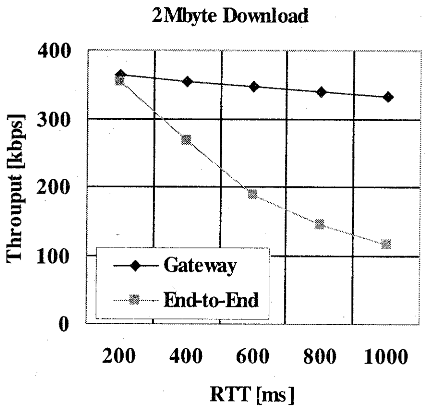

図6.1 バルクダウンロードスループット

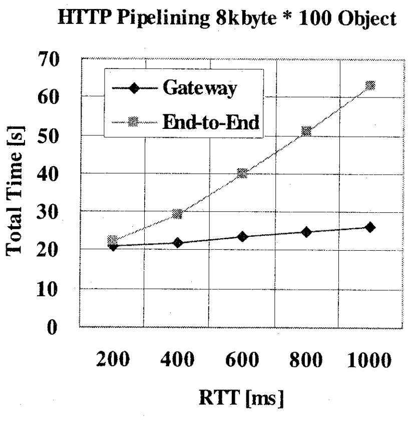

図6.2 リクエストパイプライニング

秒と 200ms の時とくらべ 2 倍の時間がかかっており,HTTP リクエストパイプライニングだけの利用では,IMT-2000 パケットサービスにおける WWW アクセスの性能改善効果は期待できないことがわかる.ゲートウェイを経由した場合は，RTT が 200ms でゲートウェイを経由しない場合とほぼ同様の 21 秒で, 600ms で 24 秒, 1000ms で 26 秒であり, W-TCP の効果がよく現れていることがわかる．600ms の領域で全てのオブジェクトの取得にかかる時間をゲートウェイを経由しない場合と比べ約 1/2 とすることができた.

7. まとめ

本研究では，End-to-End の通信モデルを崩さず W-TCP と TCP の相互変換を行う透過型 Proxy 方式を提案し,ゲートウェイ装置に実装を行い, IMT-2000 パケットサービスの擬似環境において性能の評価をおこなった.

評価の結果，従来の TCP の実装のサーバへのアクセスにおいても W-TCP の効果を得ることができ,インターネット上に多数存在する W-TCP が適用されていないサーバに対するアクセスを，透過型 Proxy 方式を用いたゲートウェイ装置の設置で大幅に改善できることを明らかにした.また，HTTP リクエストパイプライニングのような上位層での高遅延ネットワークにおける効率化手法は，上位層のプロトコルを終端する通常の Proxy 方式では効果を得ることができないが, 透過型 Proxy 方式の利用で,TCP 層の効率化手法を有効にすると同時に，上位層の効率化手法の効果を維持することができる，ということが明らかとなった.

文　献

[1] 原政博，中川格，藤野信次,"携帯電話網での Wireless Enhanced TCP の実装"，DICOMO2001

[2] Kojo, M., Raatikainen, K., Liljeberg, M., Kiiskinen, J., Alanko, T., "An Efficient Transport Service for Slow Wireless Telephone Links," in IEEE Journal on Selected Areas of Communication, volume 15, number 7, September 1997.

[3] Bakre, A., Badrinath, B. R., "Handoff and Systems Support for Indirect TCP/IP. In Proceedings of the Second USENIX Symposium on Mobile and Location-Independent Computing, Ann Arbor, Michigan, April 10-11, 1995.

[4] Yavatkar, R., Bhagawat, N., "Improving End-to-End Performance of TCP over Mobile Internetworks," Proc. Workshop on Mobile Computing Systems and Applications,

[5] 石川太朗，稲村浩，高橋修，"W-CDMA 向け TCP プロファイル "，MBL/ITS 合同研究会,Nov. 2000.

[6] 関口克己，北口雅哉，鶴巻宏治，高橋修，"モバイルインターネットアクセスにおけるリクエストパイプライニングの有効性" MBL/ITS 合同研究会,Nov. 2000.

[7] Internet Draft, " TCP over 2.5G and 3G Wireless Networks", draft-ietf-pilc-2.5g3g-05.txt

[8] RFC1323, "TCP Extensions for High Performance"

[9] RFC2018, "TCP Selective Acknowledgment Options"

[10] RFC2414, "Increasing TCP's Initial Window"

[11] RFC2616, "Hypertext Transfer Protocol -- HTTP/1.1"

[12] RFC2757, " Long Thin Networks"

[13] Internet Draft, " TCP over CDMA2000 networks", draft-khafizov-pilc-cdma2000-00.txt